

Año II, No. 03 Enero-Junio 2014

ISSN: 2395-9029

# PROYECTOS INSTITUCIONALES Y DE VINCULACIÓN



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®



**FIME**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRONICO DE POTENCIA AUTOSUSTENTABLE

**Rodolfo Rubén Treviño Martínez, Manuel Munguía Macario, Héctor Humberto Lara Salas**

### RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó un sistema de distribución de energía de corriente alterna a partir de una fuente de corriente directa utilizando herramientas analíticas del dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia aplicables en todos los puntos de electrónica de potencia y circuitos eléctricos. El objetivo del proyecto es el diseño e implementación de estos sistemas teóricos para poder posteriormente ser utilizados como métodos alternativos de generación de energía, como por ejemplo, a complemento de sistemas de energía renovables y que pueda brindar este servicio a comunidades donde la distribución de la energía por métodos convencionales sea muy costosa o ineficiente. Esto se logra a partir de la obtención de un voltaje de corriente directa que puede ser un panel solar o bien simplemente una batería, la cual deberá de pasar a una etapa de elevación para llegar a un voltaje deseado y poder ser invertido y obtener un voltaje eficaz que pueda dar soporte energético al usuario, antes de ser entregado a este último deberá de pasar por una etapa de un filtro de línea el cual deberá de estar diseñado de tal manera que la componente fundamental quede situada en la banda de paso y las demás armónicas queden posteriores a la frecuencia de corte.

En el caso de cuando la energía se adquiere a partir de paneles solares se agrega una etapa con un acumulador para almacenar la energía, en la etapa de conversión de corriente directa a corriente directa de elevación se ponen 2 etapas de 25Vcd a 100Vcd y de 100Vcd a 180Vcd de tal manera que se pueda obtener una última etapa de 360Vcd este voltaje ya es suficiente para poder realizar una etapa de inversión y obtener un voltaje de 127Vrms y de 60Hz que otorga Comisión Federal de Electricidad a los usuarios. De esta manera el usuario no tendría que modificar ningún electrodoméstico ni aparato electrónico.

**Palabras Clave:** Convertidor CD-CA, Convertidor CD-CD, Acumulador, Filtro, Energía Solar.

### ABSTRACT

In this project has been designed an electronic system in which from a DC voltage is amplified and then reverses and becomes ac. this arises with the use of renewable energy systems to support users as if it were a normal three-phase system as awarded by CFE

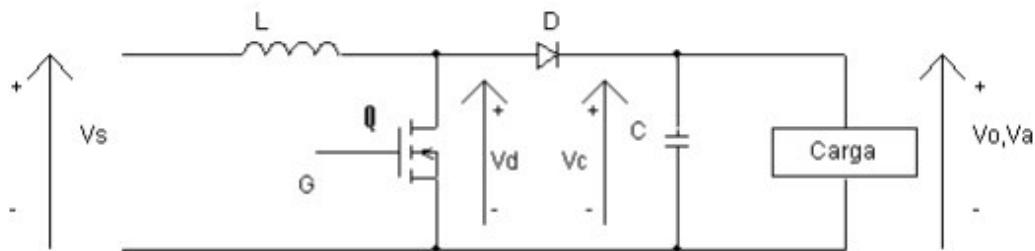
Keywords: three phase system, DC-DC converter, DC-AC converter.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad estamos viviendo una era en la cual los sistemas electrónicos no solo deben de cumplir su función, si no también debe de ser sustentable y amable con el medio ambiente tratando de usar los recursos renovables, se puede observar ya que Comisión Federal de

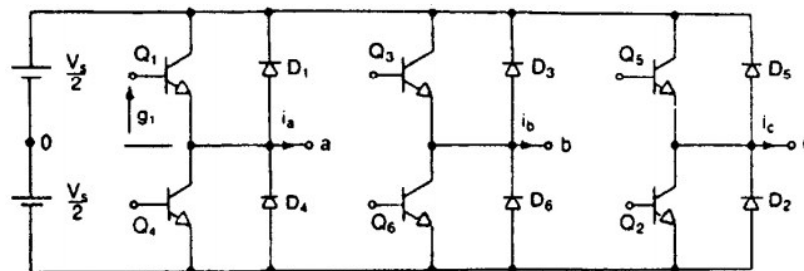
Electricidad (CFE) está haciendo una transición de sistemas químicos a sistemas solares y en otras partes del mundo se aprovechan esta y otras energías renovables y ya se ha demostrado que este tipo de circuitos pueden sostener la energía necesaria para un consumo doméstico o inclusive industrial. Otro factor que se debe de tomar en cuenta a parte del valor de voltaje eficaz es la frecuencia de salida debido a que los aparatos electrodomésticos funcionan a una frecuencia específica (generalmente 60Hz).

Para poder llevar esto a cabo, nuestro voltaje de entrada debe de amplificarse como ya se dijo anteriormente. Para poder llevar esto a cabo esta amplificación se tiene que tomar la señal por un convertidor CD-CD de 25Vcd a 100Vcd y de 100Vcd a 180Vcd, con 2 etapas en paralelo se obtendrá un voltaje de 360Vcd [1, 3, 5,6]. Esta etapa va controlada por un pulso de conmutación de alta frecuencia y de ciclo de trabajo variable el cual está directamente relacionado con el voltaje de entrada por etapa y de salida por esta misma, en el diseño puede ser usado un transistor de unión bipolar o uno de efecto de campo dependiendo de la etapa en específico por sus valores de potencia y frecuencia



**Figura 1.** Diagrama Básico de un convertidor CD-CD elevador

Después va a una etapa de conversión de CD-CA, esta etapa se realizara con un arreglo especial el cual se clasifica como inversor trifásico de 180 grados, en el cual los 360Vcd pasa a tener un valor de 127Vrms el cual es uno de parámetros deseados en nuestro sistema ya que mediante un arreglo de los par de transistores por fase estarán sincronizados para no correr riesgo de hacer un corto circuito además de que también deberán de tener una sincronía entre fases para poder hacer el diseño correcto de este circuito.



**Figura 2.** Diagrama Básico de un convertidor CD-CA

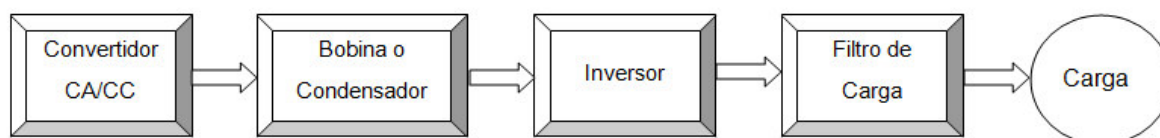
## JUSTIFICACIÓN

El planteamiento del presente proyecto engloba una serie de conceptos básicos de análisis de señales y sistemas electrónicos, tanto en el dominio del tiempo como el de la frecuencia, que son

fundamentales, el diseño final, en el cual se busca ser innovador y de un diagrama propuesto por el equipo de trabajo, además de como en cualquier proyecto dar solución a una problemática actual la implementación y comprobación deberá hacerse a través distintos simuladores y equipo físico como lo pueden ser osciloscopio, analizadores de espectro, entre otros. Esto como finalidad de poder llevar el diseño propuesto a etapa de implementación en el cual pueda tener cabida como aplicación de sistemas domésticos o industriales

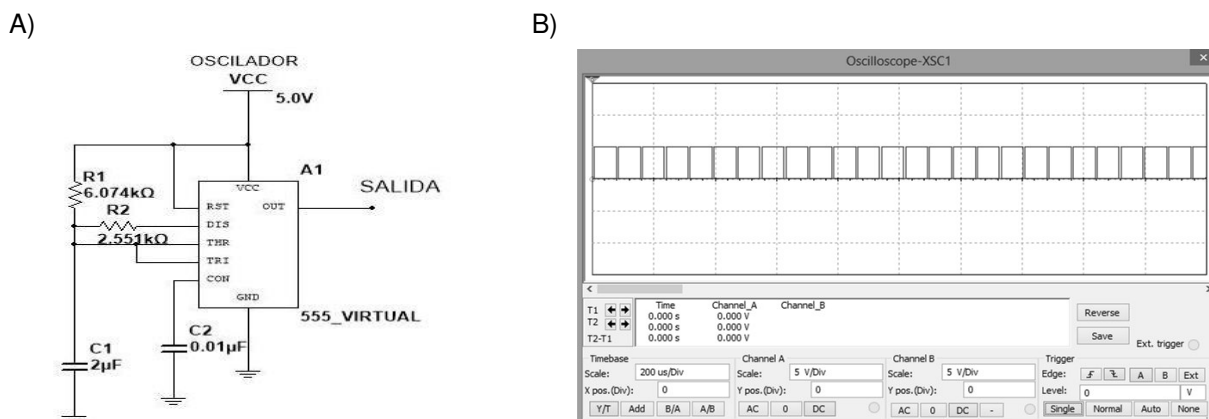
## METODOLOGÍA

A continuación, en la Figura 3, se ilustra un diagrama de bloques del sistema de distribución de energía desarrollado en el presente proyecto, el cual se explicará de forma resumida.



**Figura 3.** Diagrama del sistema para la señal de voltaje de salida con el valor de  $V_{rms}$  deseado y la frecuencia deseada

El sistema puede dividirse en 3 etapas fundamentales las cuales van desde la obtención de la energía hasta el proceso de inversión de corriente pasando por una etapa de elevación de voltaje cada etapa desarrolla un circuito de control que tiene cierto grado de complejidad. En la primera etapa tenemos la obtención de la energía la cual está dada por una fuente de corriente directa la cual puede llevar un acumulador para el almacenamiento de la energía. En la segunda etapa tenemos un circuito convertidor de CD-CD el cual se encarga de elevar 25 Vcd a 360Vcd con cuatro etapas internas de amplificador de voltaje esto debido al efecto de poner un transistor de unión bipolar hacer conmutado por medio de otro transistor BJT que va de estado de corte a saturación por el efecto de un timer 555 que es conectado de manera monoestable con un ciclo de trabajo variable para que al momento de ser llevado a etapas posteriores sirva para las relaciones de voltaje entrada salida, el cual puede observarse en la siguiente Figura 4:

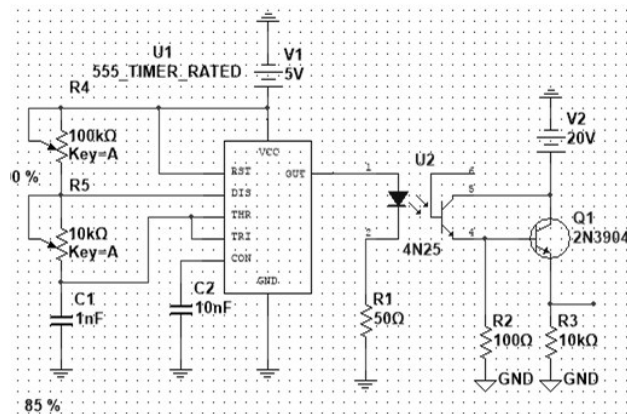


**Figura 4.** Etapa de generación del pulso de control para la etapa de convertidor CD-CD con ciclo de trabajo variable, A) circuito electrónico B) señal de salida

Posteriormente es conectado un circuito optocoplador (4N25) que es utilizado para separar la parte de control de la parte de potencia con lo cual aseguramos el que no halla cruce de tierras, antes de ser conectada a la etapa de CD-CD se conecta a un transistor (2N3904) que actuara como switch ON-OFF esto al llevarlo de un estado de corte a saturación, esto se conecta la etapa del convertidor CD-CD elevador en el cual se obtiene una señal de Vcd de bajo voltaje y es llevada hasta un voltaje deseado, la relación de voltaje deseado es:

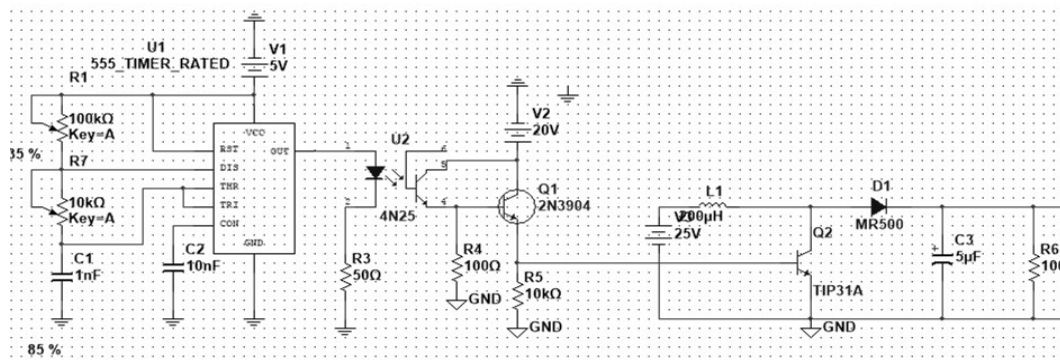
$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - k}$$

Donde K es la constante del ciclo de trabajo de la señal a la salida del timer 555 que se puso en la etapa anterior

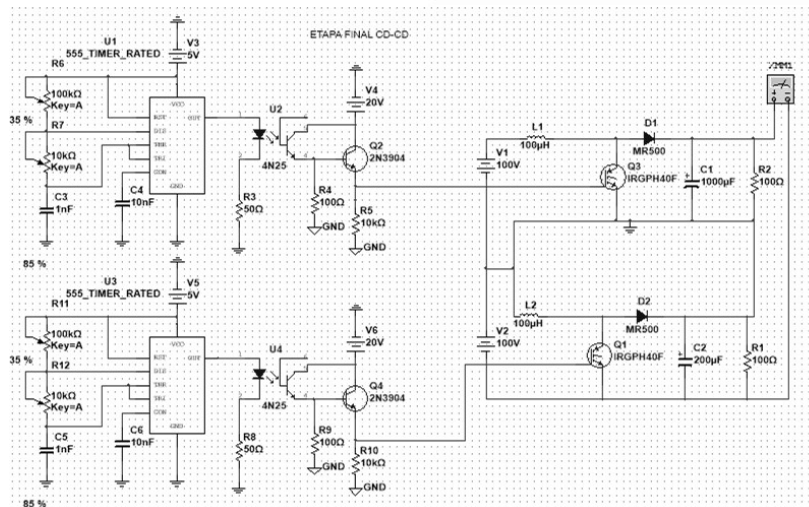


**Figura 5.** Circuito de acoplamiento y transistor que conmutara a la parte de CD-CD elevador

En la etapa de convertidor CD-CD elevador se tiene un transistor (TIP31A) el cual funciona de 2 modos, en los cuales puede estar conduciendo o no dependiendo de si tiene la señal proveniente de las etapas anteriores. En el modo 1 (Figura 6.1), cuando el transistor está conectado se aísla el inductor del resto del circuito debido a que el transistor funcionara como corto circuito y el diodo de rodada libre (MR500) queda como circuito abierto, en este modo el inductor se cargara. En el modo 2 (Figura 6.2), la corriente almacenada en el inductor será liberada y cargara a los demás componentes, el capacitor se carga en este modo ya que almacenara el voltaje de entrada. Este cambio de modos ocurre a la frecuencia a la que este oscilando el pulso proveniente del timer.



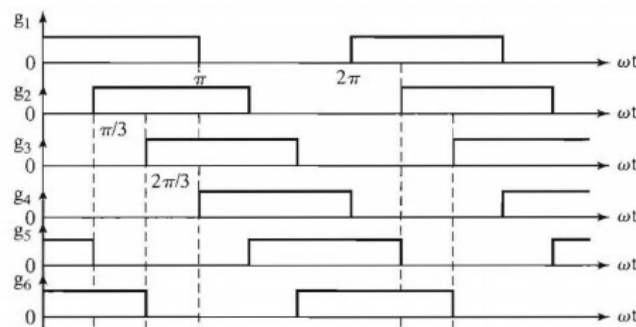
**Figura 6.1.** Etapa de convertidor de CD-CD, etapa de 25 V a 100 V.



**Figura 6.2.** Etapa de convertidor CD-CD de 100Vcd a 360Vcd por el efecto de los 2 convertidores conectados en serie.

Posteriormente se plantea la etapa de el convertidor de CD-CA donde procederemos a invertir la polaridad de la señal que se acaba de amplificar, para lograr esto se diseña un circuito lógico de control con el cual se pueda obtener los pulsos necesarios para tener la secuencia de conmutación de los transistores en el orden correcto de un inversor trifásico de 180 grados.

Cada transistor conduce durante  $180^\circ$ . En cualquier momento hay tres transistores encendidos. Cuando se enciende el transistor  $Q_1$  la terminal a esta conectada con la terminal positiva del voltaje cd de entrada. Cuando se enciende el transistor  $Q_4$ , la terminal a se lleva y la duración a la terminal negativa de la fuente de cd. Hay seis modos de operación en un ciclo, y la duración de cada modo es de  $60^\circ$ . Los transistores se numeran en el orden de sus señales de disparo (es decir 123, 234, 345, 456, 561, 612). Las señales de disparo que se ven en la figura 7 están desplazadas  $60^\circ$  entre si, para obtener los voltajes fundamentales trifásicos balanceados



**Figura 7.** Pulsos necesarios para la conmutación de las 3 fases en el inversor

Lo que a continuación se propone es el diseño del circuito inversor y el diseño de su circuito de control para la obtención de los pulsos para obtener un voltaje de línea tal que sea compatible con los estándares de uso eléctrico en México, incluidos los niveles de voltaje y la frecuencia de oscilación



La primera etapa es de obtener un pulso de onda cuadrada de 60Hz (Figura 4), para poder asegurar la frecuencia de oscilación. El circuito comienza con un timer 555 que genera una señal de onda cuadrada de frecuencia de 60Hz con un ciclo de trabajo de 50%, lo cual es clave para asegurar que los transistores que estarán en las fases del inversor no conduzcan al mismo tiempo y que el tiempo que estén activos sea el mismo por fase[1,2]

Entonces matemáticamente la señal de salida se puede describir de la siguiente manera:

$$p(t) = \begin{cases} 5, & 0 \leq t \leq T_s/2 \\ 0, & \text{otro valor de } t \end{cases} \quad (1)$$

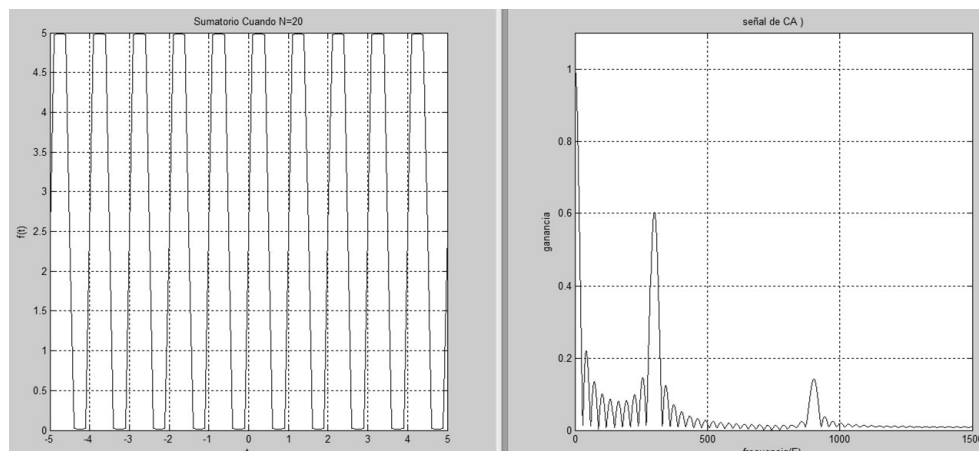
Para poder obtener tres señales desfasadas  $120^\circ$  es necesario primero obtener una señal sinusoidal que se pueda desfasar por un circuito, esto debido a que aunque se considere que tenemos una señal de onda cuadrada como se muestra en la ecuación 1 también puede verse a través de una serie de Fourier, cual nos dice que toda señal periódica puede representarse a través de una sumatoria de senos y cosenos con un componente promedio de energía:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (2)$$

Si se toma en cuenta que tiene una simetría de onda impar con un componente directo que se le es agregado la señal  $p(t)$  y por medio de la ecuación anterior puede representarse de la siguiente manera:

$$p(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (3)$$

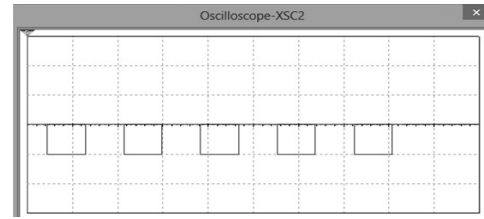
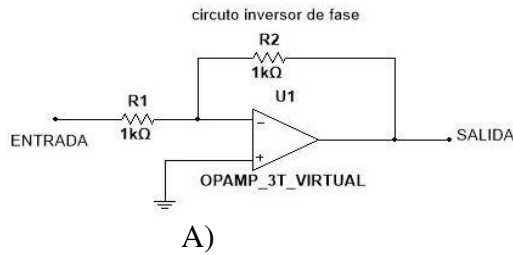
A partir de esto se puede obtener una respuesta a la frecuencia donde se vea la distribución de la energía en el dominio de la frecuencia desarrollando la serie propia de la señal  $p(t)$ , con la ayuda del software Matlab se puede observar el siguiente gráfico:



**Figura 8.** Pulso visto en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia

Primero debe de pasar por un circuito inversor de ganancia el cual aparte de desfasar la señal  $180^\circ$  también invierte la polaridad de los componentes de corriente continua, la ecuación de ganancia del circuito es la siguiente:

$$v_o = -\frac{R_f}{R_a} v_i \quad (4)$$

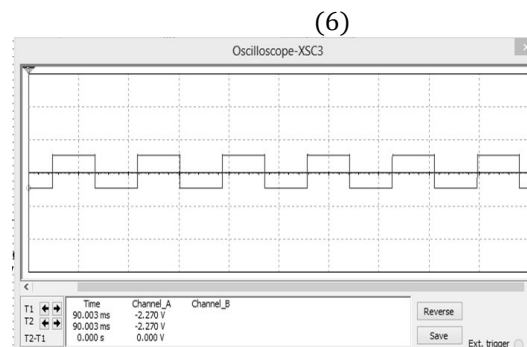
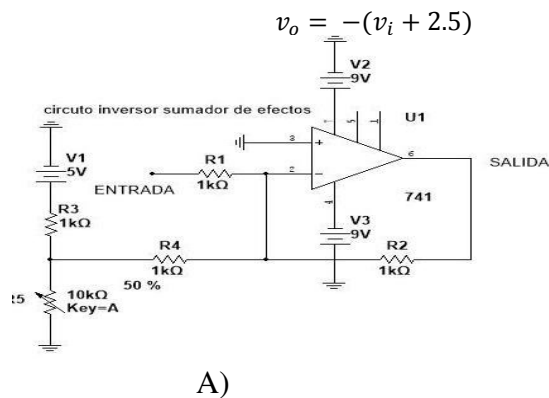


**Figura 9.** Circuito inversor de fase y ganancia, A) diagrama electrónico y B) grafica de salida

Después se conecta una etapa de amplificador sumador de efectos para eliminar el componente de directa y posteriormente conectar la etapa de filtrado, en esta etapa se tiene la siguiente ecuación:

$$v_o = -R_b \left( \frac{v_i}{R_a} + \frac{2.5}{R_x} \right) \quad (5)$$

Si  $R_a = R_b = R_x$  entonces la ecuación 5 queda de la siguiente manera:



**Figura 10.** Circuito sumador de efectos, A) diagrama electrónico y B) grafica de salida.

De esta manera se puede diseñar un filtro que elimine las demás armónicas para quedarnos solamente con la componente fundamental y también eliminar la componente de corriente directa para obtener una señal de corriente alterna. Para el diseño del filtro se escogió un filtro activo buttherworth con una ganancia en la banda de paso de 0dB. El cual tiene el siguiente polinomio para el filtro ya normalizado:

$$B_3(s) = S^3 + 2S^2 + S + 1 \quad (7)$$

Donde tenemos el siguiente diseño de acuerdo con la tabla de valores de Buttherworth:



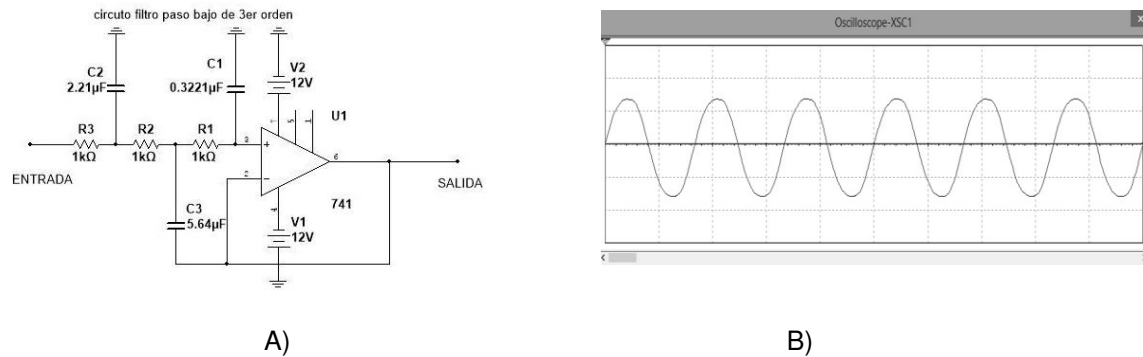
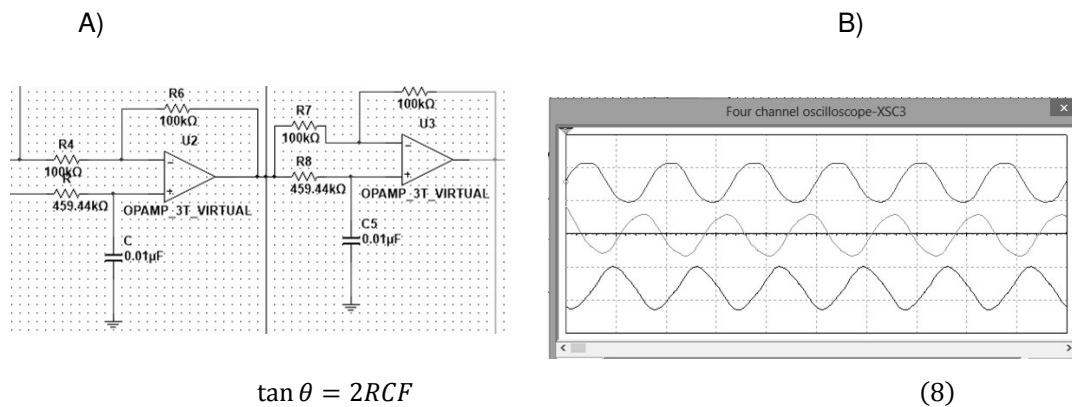


Figura 11. Filtro buttherworth, A) diagrama electrónico y B) grafica de salida

Posteriormente cuando ya solo queda la senoidal se procede a desfase la señal y obtener 3 señales cada una con 120° de desfase, esto a través de la ecuación de fase del polo RC involucrando la frecuencia [1,2,3,4,7,8]:



$$\tan \theta = 2RCF$$

(8)

Figura 12. Filtro de desfasamiento, A) diagrama electrónico y B) grafica de salida.

Como última parte se agrega circuitos de comparación para volver a obtener señales cuadradas a partir de las señales senoidales que tenemos, los cuales están diseñados para detectar los cruces por 0.

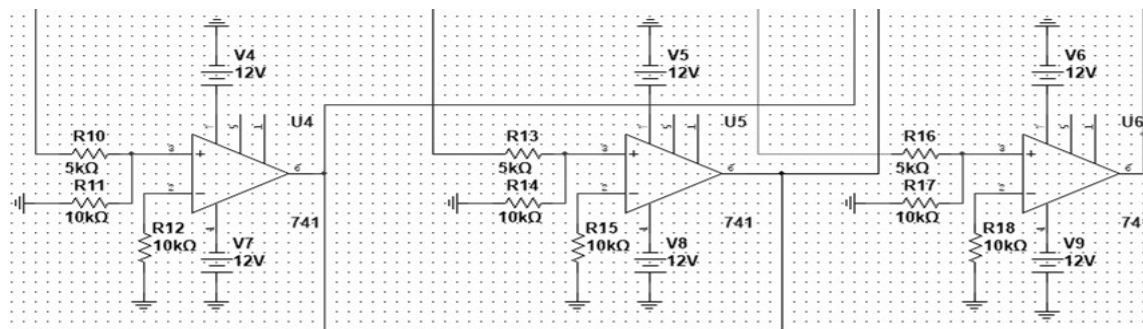
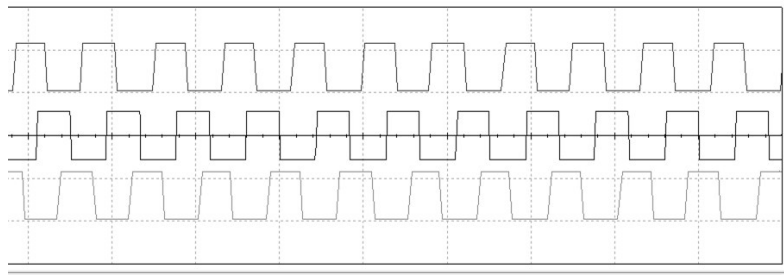
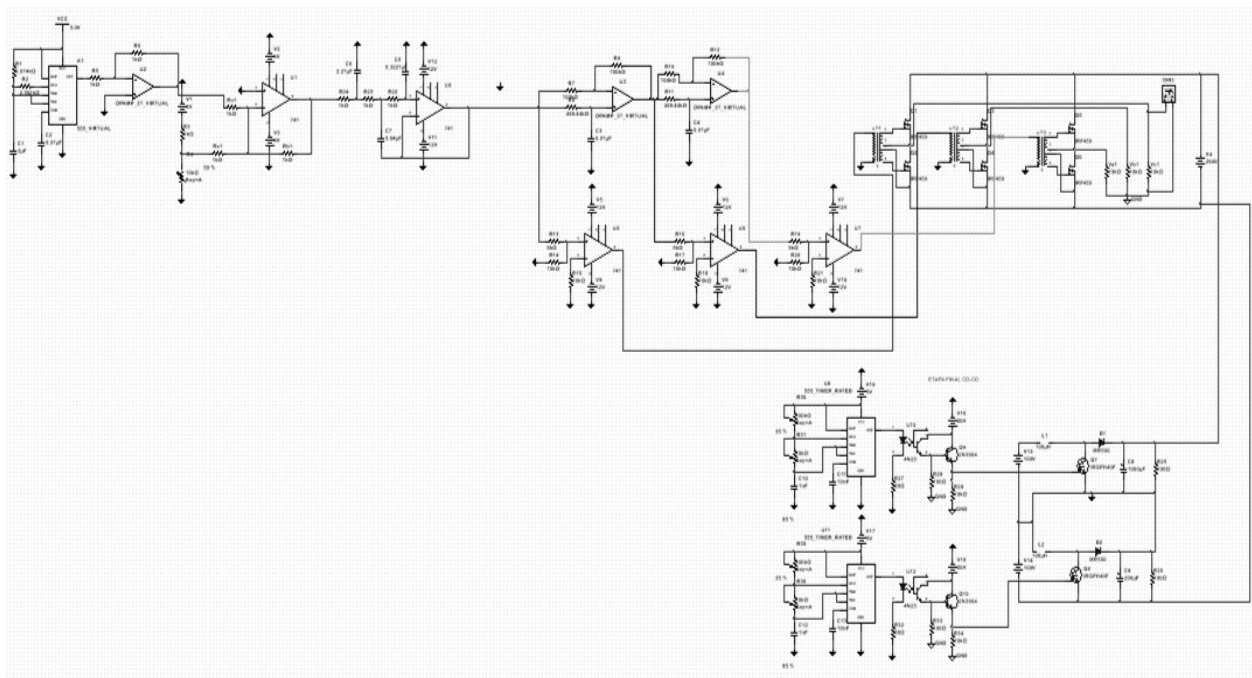


Figura 13. Filtro de comparación, diagrama electrónico.



**Figura 14.** Grafica de salida del filtro de comparación.

De tal manera que el circuito con todas sus etapas querara de la siguiente forma:



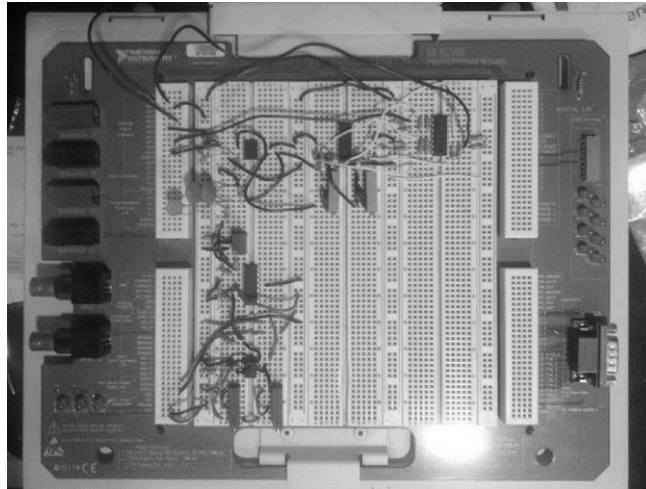
**Figura 15.** Diagrama final de proyecto

## RESULTADOS

Las conexiones del sistema fueron realizadas (ver Figura 15) y se monitoreo sus etapas de elevación de CD-CD, los pulsos y los el inversor CD-CA, fueron medidos los voltajes de línea y también la frecuencia de oscilación para poder corroborar que los datos simulados coincidan con los físicos con los cuales se comprueba el desfase de las señales y también el funcionamiento para la etapa del inversor y la obtención del voltaje de CA

En estos resultados podemos ver las conexiones del sistema en el cual con la ayuda de equipo como el NI ELVIS podemos ver formas de onda clave y empujados en su plataforma el diseño de los circuitos de control, en la siguiente foto podemos ver la implementación de toda la parte

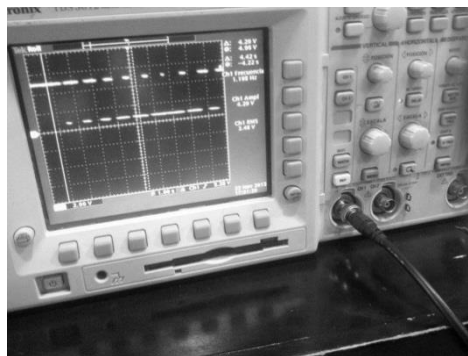
de control del proyecto desde el pulso a la salida de timer 555 hasta la parte de comparación con las señales desfasadas.



**Figura 16.** Circuito implementado en la plataforma NI ELVIS



**Figura 17.** Voltaje a la salida de la etapa de conversión CD-CD



**Figura 18.** Salida del inversor ya mostrada en un osciloscopio



## CONCLUSIONES

Con toda esta información se puede concluir que a partir de los modelos teóricos y con las simulaciones debidas se es capaz de crear un sistema electrónico de potencia que genere la energía de una manera eficiente y con un método renovable para la alimentación eléctrica para el consumo doméstico o industrial. Esto nos lleva a creer que los sistemas de energía renovable son el futuro de las sociedades actuales y aunadas con sistemas electrónicos de control más eficientes estos sistemas se empiezan a volver más accesibles para el cliente promedio

## BIBLIOGRAFÍA

- Couch II, L. (2008). *Sistemas de comunicaciones analógica y digitales*. Mexico: Pearson.
- Coughlin, R. D. (1993). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Esteves Araújo, R. (2012). *Induction motors - modeling and control*. Croacia: InTech.
- Franco, S. (2005). *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos*. Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Haykin, S. (2002). *Sistemas de Comunicaciones*. Mexico D.F.: Limusa.
- Hristu-Varsakelis D., L. W. (2003). *Handbook of networked and embedded control systems*. Boston: Birkhäuser Boston.
- Kazimierczuk, M. (2008). *Pulse-width Modulated DC-DC power Converters*. Dayton, Ohio.: John Wiley & Sons.
- Larsen, R. (2011). *LabVIEW for Engineers*. New Yersey: Prentice Hall.
- Mihai, A. (2001). *RF power amplifiers*. Atlanta: Noble Publishing Corporation.
- Rashid, M. (2004). *Electrónica de potencia. Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*. Mexico: Pearson.
- Savant, J. C. (2000). *Diseño electrónico, circuitos y sistemas*. Edo. de México: Pearson.
- Wang, H. (2009). *4G Wireless video communications*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.